

## Resum

L'objectiu d'aquest projecte és el de dissenyar una plataforma de mesura de forces per a l'estudi de la marxa humana pel laboratori de biomecànica de la UPC situat al departament d'Enginyeria Mecànica de l'ETSEIB. Aquest tipus de plataformes s'instal·len en una tarima per on es fa caminar una persona. La plataforma dona com a resultat el tursor, és a dir, les tres forces i els tres moments, que rep aquesta de la persona. Gràcies a aquest tursor es pot caracteritzar la manera de caminar de dita persona i es molt útil en el disseny de pròtesis i plantilles.

Primerament, s'ha analitzat les diferents plataformes que existeixen al mercat per tal de conèixer i familiaritzar-se amb les prestacions i característiques principals que proporcionen. Per altra banda, també s'ha fet una recerca dels diferents sensors de força que poden ser útils pel disseny de la plataforma.

Després d'aquest estudi previ, s'ha passat al disseny de la plataforma. No s'ha partit de cap disseny preliminar, sinó que a través de les especificacions donades pel laboratori de biomecànica i als diferents models de plataformes estudiades, s'ha realitzat la present plataforma.

Per poder dur a terme el disseny, s'ha empleat diferents coneixements mecànics adquirits durant la carrera en l'especialització de mecànica i el disseny en 3D, s'ha fet amb l'ajuda d'un software de Dibuix Assistit per Ordinador amb tres dimensions (CAD 3D) anomenat SolidWorks.

Pel disseny de la plataforma també s'ha tingut en compte consideracions econòmiques i ambientals.

Finalment, s'ha obtingut la plataforma desitjada complint totes les especificacions marcades pel client (laboratori de biomecànica de la UPC) i amb un preu molt més reduït que el de les existents plataformes al mercat.



# Sumari

<b>RESUM</b>	<b>1</b>
<b>SUMARI</b>	<b>3</b>
<b>1. PREFACI</b>	<b>5</b>
1.1. Origen del projecte	5
1.2. Motivació	5
1.3. Requeriments previs	6
<b>2. INTRODUCCIÓ</b>	<b>7</b>
2.1. Objectius del projecte	7
2.2. Abast del projecte	7
<b>3. PLEC DE CONDICIONS I ESPECIFICACIONS</b>	<b>9</b>
<b>4. ESTAT DE LA TÈCNICA</b>	<b>11</b>
4.1. Plataformes existents al mercat	11
4.2. Sensors de força	13
4.2.1. Sensors uniaxials	13
4.2.2. Sensors triaxials	16
<b>5. DESCRIPCIÓ DEL PRODUCTE</b>	<b>17</b>
5.1. Disseny i funcionament	17
5.2. Solució constructiva	22
5.3. Components	22
5.3.1. Components que es compren	22
5.3.2. Components que es fabriquen	26
5.4. Comprovacions de les especificacions	27
5.4.1. Comprovació del dimensionament	27
5.4.2. Comprovació de les forces a suportar	28
<b>6. MUNTATGE</b>	<b>31</b>
<b>7. PLA DE MANTENIMENT</b>	<b>33</b>
<b>8. ESTUDI ECONÒMIC I PRESSUPOST</b>	<b>35</b>
8.1. Cost del projecte	35
8.1.1. Recursos humans	35
8.1.2. Recursos materials	36

8.2.	Pressupost de la construcció de la plataforma.....	37
8.2.1.	Cost dels components que es compren .....	37
8.2.2.	Cost dels components que es fabriquen .....	38
8.2.3.	Cost del muntatge .....	38
8.2.4.	Pressupost total del projecte.....	39
<b>9.</b>	<b>IMPACTE AMBIENTAL .....</b>	<b>41</b>
9.1.	Fabricació.....	41
9.2.	Muntatge i funcionament.....	41
9.3.	Retirada del producte.....	41
<b>CONCLUSIONS</b>	<b>.....</b>	<b>43</b>
<b>AGRAÏMENTS</b>	<b>.....</b>	<b>45</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>.....</b>	<b>47</b>
	Referències bibliogràfiques .....	47
	Bibliografia complementària .....	47

# 1. Prefaci

## 1.1. Origen del projecte

La idea de realitzar el projecte sobre una plataforma de mesures de la marxa humana sorgeix de la necessitat del Grup d'Enginyeria Biomecànica (BIOMEC) del departament d'Enginyeria Mecànica de la UPC degut a que estan realitzant un estudi d'ortesis de genoll. La plataforma s'instal·la en una tarima per on es fa caminar una persona, tal i com es mostra a les fotografies que es troben a continuació, i dóna com a resultat el torsor, és a dir, les tres forces i els tres moments, que rep de la persona. Gràcies a aquest torsor i a altres mesures del moviment de la persona, es pot caracteritzar la manera de caminar de dita persona i és molt útil en tot disseny relacionat amb la biomecànica de la marxa humana.



*Fig. 1: Plataforma de força en ús.*

## 1.2. Motivació

La motivació principal que em va portar a desenvolupar el projecte, va ser la idea de poder dissenyar un objecte mecànic que no estigués relacionat en el àmbit industrial, sinó en l'àmbit de l'ésser humà. Això es degut a que durant els estudis acadèmics la majoria dels treballs realitzats en el disseny mecànic han sigut sobre l'àmbit industrial com poden ser reductors, accionaments de motors... i el fet de treballar en un àmbit diferent m'aporta un complement ideal per la meva formació com enginyer, ampliant els meus coneixements i explorant altres àrees menys conegudes per mi.

Per altre banda, una segona motivació és el repte de poder dissenyar una plataforma de força reduint els seus costos de manera que el preu final del producte sigui inferior al de les plataformes existents al mercat actual que ronden al voltant dels 10.000€.

### 1.3. Requeriments previs

Per a poder realitzar el projecte correctament ha sigut necessari una familiarització prèvia del funcionament i ús de les plataformes de força. Per altre banda, també ha sigut oportú estudiar els diferents sensors de força que es troben actualment al mercat.

Cal destacar que un dels principals problemes d'aquesta recerca prèvia ha sigut la falta de dades del funcionament i de la fabricació de les plataformes de força ja que existeix una forta competitivitat entre les empreses.

## 2. Introducció

### 2.1. Objectius del projecte

L'objectiu d'aquest projecte és el disseny d'una plataforma que permeti calcular el torsor que rep quan una persona passa caminant per sobre, de cara a facilitar i ajudar els investigadors biomecànics en caracteritzar la marxa de les persones. Això vol dir:

- Estudiar els diferents sensors de força a utilitzar i la seva disposició a la plataforma.
- Analitzar l'error en la mesura de les forces i els moments.
- Realitzar el disseny mecànic de la plataforma.
- Aconseguir un disseny que permeti una fabricació viable de les peces contingudes en la plataforma.
- Estudiar el seu impacte ambiental.
- Estimar els costos i pressupost del projecte.
- Comparar les prestacions i el cost del producte dissenyat amb les plataformes existents al mercat.

### 2.2. Abast del projecte

El projecte abastarà tot el procés de disseny conceptual exceptuant el disseny d'adquisició de dades, arribant al disseny de detall mecànic per tal de construir un prototip però sense estudiar la comercialització i distribució del producte final. Es resoldrà, per tant, l'estudi de la viabilitat tècnica.





### 3. Plec de condicions i especificacions

El laboratori de biomecànica de la UPC ha demanat el disseny d'una plataforma que permeti calcular el torsor, és a dir, les tres forces i els tres moments, quan una persona camina per sobre d'aquesta. Aquesta plataforma ha de tenir les prestacions següents:

- Dimensions de la plataforma: 600x400mm
- Altura màxima de la plataforma: 120mm (especificació no crítica)
- Càrrega màxima:  
 $F_x = \pm 450\text{N}$   
 $F_y = \pm 450\text{N}$   
 $F_z = 1500\text{N}$   
 $M_x = \pm 300\text{Nm}$   
 $M_y = \pm 450\text{Nm}$   
 $M_z = \pm 225\text{Nm}$

Aquestes càrregues màximes requerides es coneixen a través de les mesures que es fan actualment al laboratori amb una plataforma comercial.

- Cost assumible

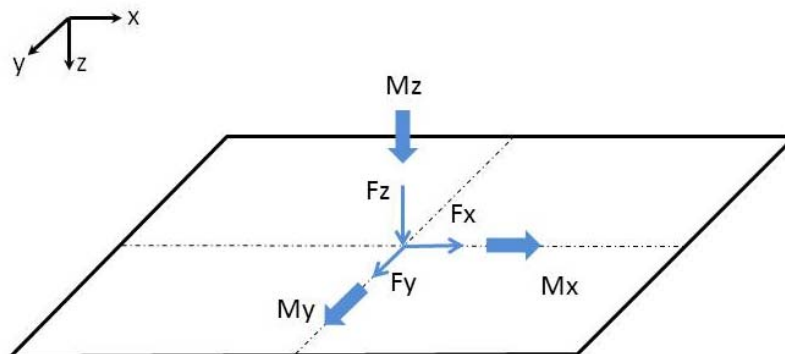


Fig. 2: Torsor.

Tal i com es mostrarà a continuació al apartat *Estat de l'art*, actualment hi ha plataformes comercials que compleixen totes les especificacions demanades excepte la del cost assumible. Algunes tenen marges de forces més amplis perquè admeten estudis diferents de la marxa humana, com per exemple salts.



## 4. Estat de la tècnica

### 4.1. Plataformes existents al mercat

S'ha realitzat una recerca de les diferents plataformes per veure quines especificacions tenen i fer-se una idea del que hi ha al mercat. A continuació es mostren dues taules on es poden veure algunes de les especificacions com són les dimensions, les càrregues admissibles o el preu, d'onze plataformes diferents: (per més informació veure ANNEX 1. *PLATAFORMES EXISTENTS AL MERCAT*)

Taula 1: Plataformes existents al mercat.

Model	9260AA6	9260AA3	9286B	Accugait	BP400600-1000	BP400600-2000
Empresa	KISTLER	KISTLER	KISTLER	AMTI	AMTI	AMTI
Dimensions [mm]	600x500x50	298,5x500x50	600x400x35	500x500x40	600x400x82,5	600x400x82,5
Capacitat	Fx [kN]	de -2,5 a 2,5	de -2,5 a 2,5	0,45	2,225	4,45
	Fy [kN]	de -2,5 a 2,5	de -2,5 a 2,5	0,45	2,225	4,45
	Fz [kN]	De 0 a 5	De 0 a 5	2,7	4,45	8,9
	Mx [Nm]	-	-	170	1300	2700
	My [Nm]	-	-	170	900	1800
	Mz [Nm]	-	-	85	700	1300
Preu [€]	18000	16000	18000	-	10000	12000

Model	BP400600-4000	OR6-7-1000	OR6-7-2000	OR6-7-4000	BTS P-6000
Empresa	AMTI	AMTI	AMTI	AMTI	BTS BIOENGINEERING
Dimensions [mm]	600x400x82,5	508x464x83	508x464x84	508x464x85	600x400x57
Capacitat	Fx [kN]	8,9	2,225	4,45	±2000
	Fy [kN]	8,9	2,225	4,45	±2000
	Fz [kN]	17,8	4,45	8,9	2000
	Mx [Nm]	5300	1100	2300	
	My [Nm]	3600	1100	2300	
	Mz [Nm]	2700	600	1100	
Preu [€]	16000	10000	12000	16000	85000

Tot seguit, també es mostren algunes imatges de les plataformes:

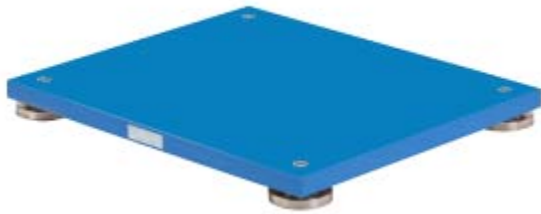


Fig. 3: Plataforma KISTLER 9260AA6



Fig. 4: Plataforma KISTLER 9286B.

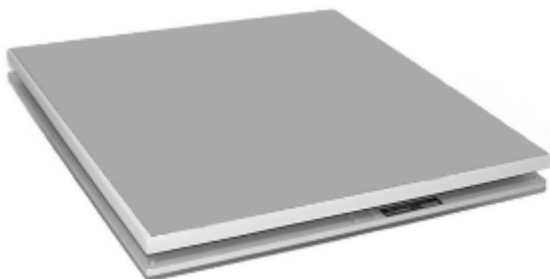


Fig. 5: Plataforma AMTI Accugait.



Fig. 6: Plataforma AMTI BP400600



Fig. 7: Plataforma AMTI or6-7

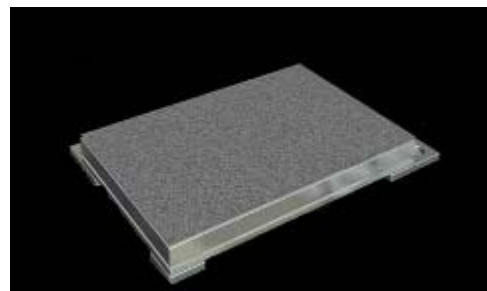


Fig. 8: Plataforma BTS P-600 BTS BIOENGINEERING

## 4.2. Sensors de força

Com que l'objectiu és dissenyar una plataforma i no comprar-ne una, s'ha fet una recerca prèvia per veure els tipus de sensors de força que es poden trobar. A continuació es mostrarà un llistat de diferents sensors que poden ser aptes per la plataforma.

### 4.2.1. Sensors uniaxials

Aquests sensors són aquells que només calculen la força en una direcció. Hi ha diversos tipus, però per la seva versatilitat, fiabilitat i senzillesa d'ús, els més emprats són els transductors piezoelèctrics i les cèl·lules de càrrega.

Els transductors piezoelèctrics mesuren la força mitjançant la deformació d'un cristall. Quan aquest es deforma, produeix una càrrega elèctrica proporcional a la força aplicada. Acostumen a ser de reduïdes dimensions i presenten l'inconvenient que només poden captar forces variables, ja que una força constant no provoca generació de càrrega elèctrica.

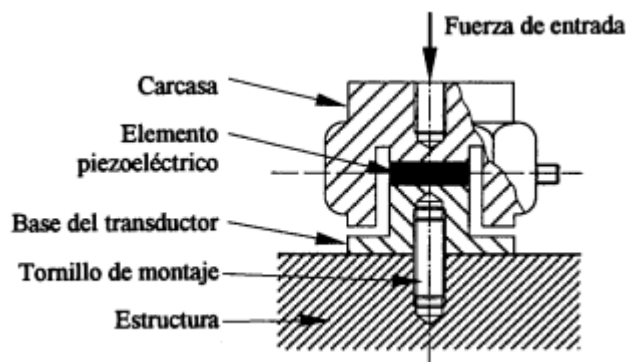


Fig. 9: Transductor piezoelèctric

Pel que fa a les cèl·lules de càrrega, es basen en la relació entre la força aplicada i la deformació produïda en un element. La deformació es mesura mitjançant galgues extensomètriques que presenten una variació de resistència elèctrica en funció de la deformació. Mitjançant un pont de Wheatstone (mostrat a la imatge següent), s'obté una variació de tensió proporcional a la variació de la resistència, i per tant, es disposa d'una mesura indirecta de la força. Aquest sí que poden captar les forces constants.

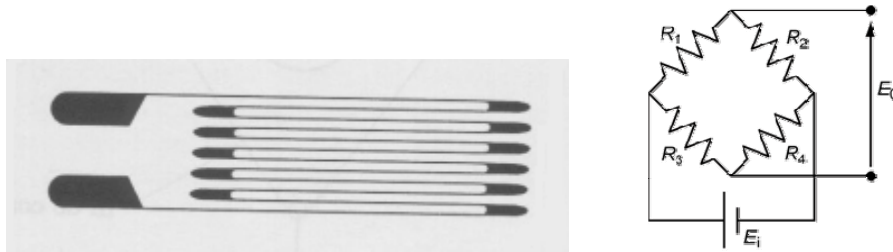


Fig. 10: Galga extensiomètrica i pont de Wheatstone

A continuació es mostrarà un seguit de sensors de força en funció del tipus de força que poden mesurar.

#### 4.2.1.1. Sensor de força a compressió

Aquests tal i com indica el seu nom calculen només a compressió, és a dir, només calculen força en una direcció i un sentit únic. Alguns dels seus avantatges són la seva gran capacitat i que són molt compactes.



Fig. 11: Cèl·lules de carga a compressió

#### 4.2.1.2. Sensors a compressió-tracció

Aquest sensors són molt semblants als anteriors però calculen la força en els dos sentits. Aquests tenen una capacitat menor als de compressió.



Fig. 12: Cèl·lules de carga a compressió-tracció

#### 4.2.1.3. Cèl·lula de càrrega a flexió



*Fig. 13: Cèl·lules de carga a flexió*

#### 4.2.1.4. Cèl·lules de càrrega monocèl·lules o de punt fix.

Les avantatges principals d'aquest tipus de cèl·lules de càrrega són el seu baix cost i la seva insensibilitat a càrregues descentrades i moments.



*Fig. 14: Cèl·lules de carga monocèl·lules o de punt fix*

#### 4.2.2. Sensors triaxials

Els sensors triaxials, tal i com indica el seu nom, són aquells que calculen la força en tres eixos diferents. Hi ha alguns del mercat que fins i tot calculen els moments en les tres direccions. Com a inconvenient d'aquests sensors cal destacar el seu alt preu.

Taula 2: Sensors triaxials

Model	XYZ	MC1-500	FS6-100/ 250/500	MC3A-100 /250/500/ 1000	MC5 1250/ 2500/5000/ 10000	70048- 00A/ 00B/ 00C/ 00D
Marca	HAEHNE	AMTI	AMTI	AMTI	AMTI	ALTHEN
Capacitat	F x: 5 kN F y: 5 kN Fz: 64 kN	F x: 1112N Fy: 1112N Fz: 2224N Mx: 11Nm My: 11Nm Mz: 11Nm	F x: 1112N Fy: 1112N Fz: 2224N Mx: 56Nm My: 56Nm Mz: 28Nm	F x: 2224N Fy: 2224N Fz: 4448N Mx: 113Nm My: 113Nm Mz: 56Nm	F x: 22241N Fy: 22241N Fz: 44482N Mx: 1626Nm My: 1626Nm Mz: 1129Nm	F x: 20000N F y: 20000N Fz: 20000N
Preu		7750€	6975€	4900€		5980€



Fig. 15: Sensors triaxials



## 5. Descripció del producte

### 5.1. Disseny i funcionament

En base a les especificacions ja esmentades, s'ha procedit a dissenyar, utilitzant un disseny concurrent, tots els elements que formen la plataforma.

Primer de tot, s'ha elegit quin tipus de sensor, dels detallats en l'apartat *Estat de la tècnica*, és el més indicat:

Pel que fa als sensors triaxials que mesuraven directament el torsor, han estat rebutjats ja que les especificacions de moment màxim no admeten muntar directament la plataforma a sobre del sensor. Això obliga a utilitzar més d'un sensor, o complementar-ho amb altres sensors, cosa que ho faria molt car.

Pel que fa al sensors triaxials que mesuren únicament les tres forces, se'n necessiten un mínim de 2 i potser 3 per calcular el torsor desitjat i que això suposaria un cost aproximat de 18.000€.

Per últim, pel que fa als sensors uniaxials, s'hauran d'utilitzar entre 6 (mínim) i 9 cèl·lules de carga a compressió o cèl·lules de carga monocèl·lules o de punt fix. En aquest cas el seu cost suposaria entre 1.800 i 1.200€.

Es decideix utilitzar, per una qüestió de cost, els sensors uniaxials i es descarten les cèl·lules a compressió ja que es vol que tots els sensors siguin iguals i aquests no permeten calcular les forces laterals (direcció x i y) en els dos sentits (positiu i negatiu).

Una vegada decidit el sensor a utilitzar, i com que aquest només mesuren forces i no moments, cal buscar una disposició adient dels sensors.

S'ha decidit fer el disseny amb el nombre mínim de sensors que és de 6, ja que s'ha de determinar les 6 incògnites del torsor de forces sobre la plataforma. Es preveu un sistema de 3 potes de manera que cadascuna d'elles mesuri dues forces. La unió de cada pota amb la plataforma es fa mitjançant una ròtula (3 forces de caracterització del enllaç) i la unió de cada pota amb el terra es fa amb un pati lliscant, de manera que assegura que una de les tres forces és nul·la. Cada pota és en realitat la unió de dues cèl·lules que mesuren les dues forces que queden.

A la imatge següent (fig. 16) es mostra la distribució dels sensors en les potes:

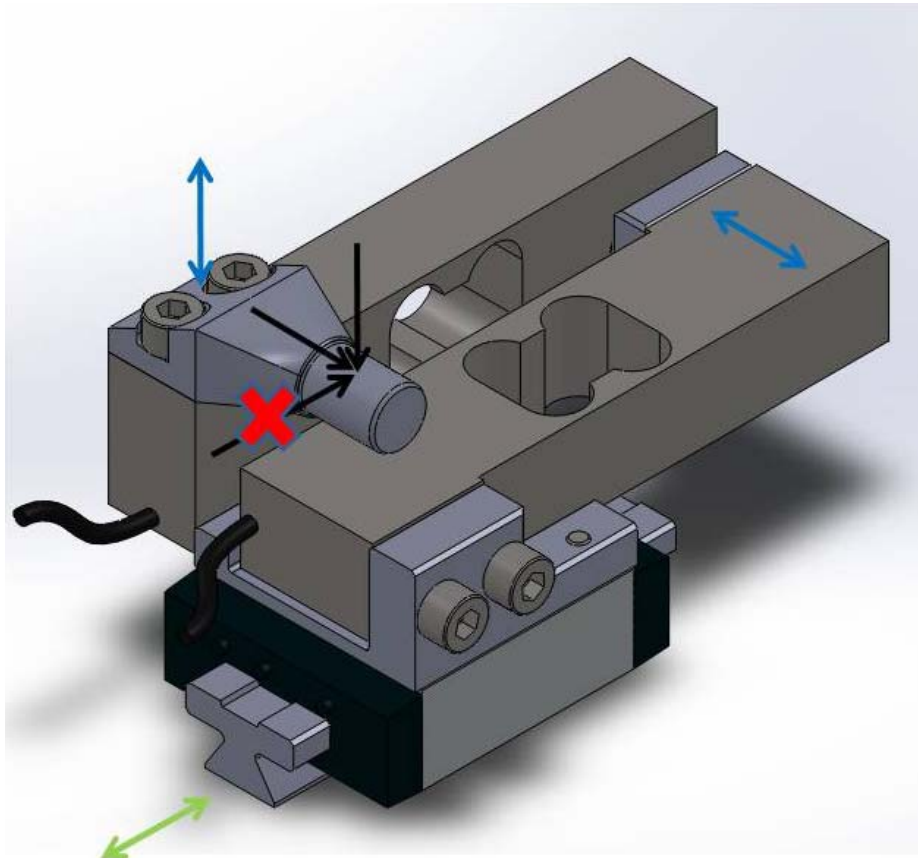


Fig. 16: Pota de la plataforma i forces que calcula

On les fletxes negres indiquen les forces que es transmeten des de la plataforma fins a la pota, les fletxes blaves són les forces que calculen cada un dels sensors i la fletxa verda és la direcció de les forces que queden lliures.

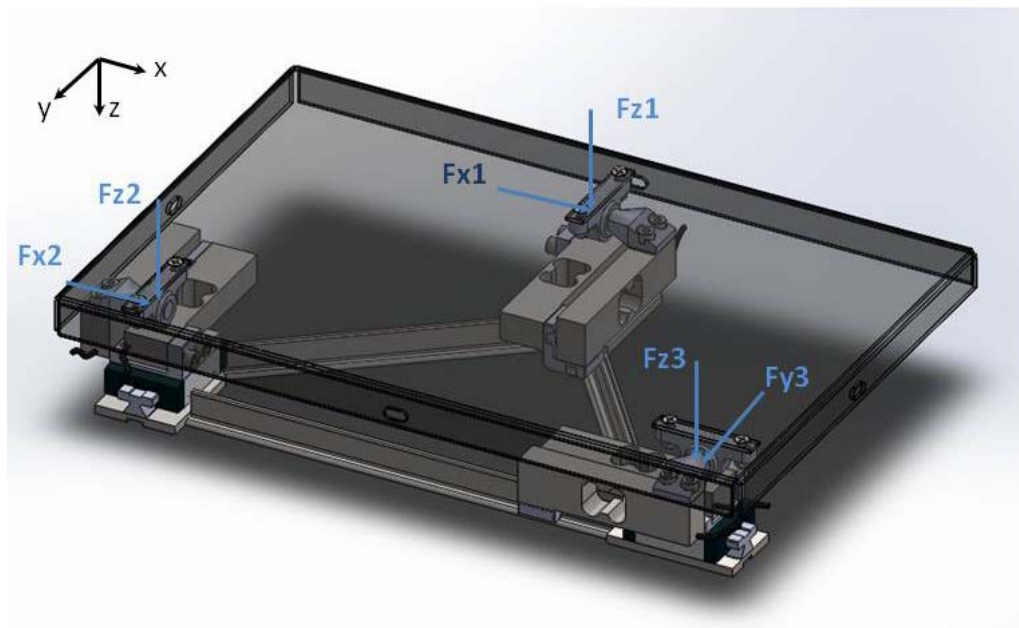
Cada pota mesura, per tant, una força vertical i una d'horitzontal. A partir d'aquestes 6 mesures és fàcil determinar el torsor de les forces que rep la plataforma. (veure ANNEX 4.3 *Comprovació del funcionament*)

S'ha realitzat un estudi de quina és la millor disposició de les potes per tal de minimitzar l'error de la mesura del torsor (vegeu ANNEX 4.1 *Estudi de disposicions*). Aquest estudi ha partit de cinc disposicions diferents tot variant la direcció de la força lateral a calcular per la pota. A la taula següent es mostra el resum d'aquest estudi:

Taula 3: Taula resum dels errors de la mesura del torsor.

	eFx [N]	eFY [N]	eFz[N]	eMx[Nm]	eMy[Nm]	eMz[Nm]	Mitjana $\bar{e}$
<b>Disposició 1</b>	7,92E-03	4,48E-03	5,99E-02	8,38E-03	1,25E-02	1,54E-03	1,58E-02
<b>Disposició 2</b>	9,42E-03	4,48E-03	5,97E-02	9,26E-03	1,22E-02	1,46E-03	1,61E-02
<b>Disposició 3</b>	1,12E-02	1,31E-02	5,99E-02	8,38E-03	1,25E-02	3,11E-03	1,80E-02
<b>Disposició 4</b>	1,12E-02	3,40E-03	5,96E-02	8,34E-03	1,32E-02	1,79E-03	1,63E-02
<b>Disposició 5</b>	1,10E-02	3,20E-03	5,89E-02	7,66E-03	1,22E-02	1,79E-03	1,58E-02

A partir dels resultat obtinguts, s'ha escollit la disposició 1 ja que és la que proporciona un error petit en totes les forces i moments i per facilitar el muntatge de tots els components de la plataforma:



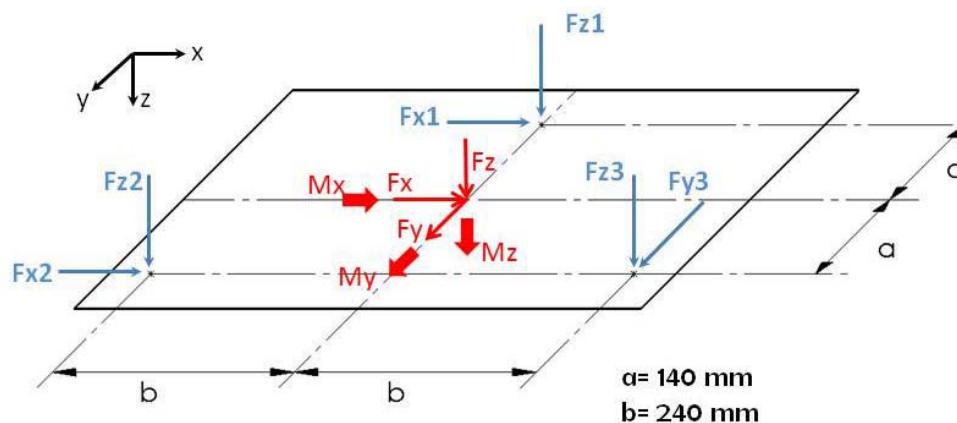


Fig. 17: Esquema disposició1.

Gracies a les forces calculades pels sensors i les equacions que es mostren a continuació es podrà calcular el torsor desitjat.

$$\begin{cases} F_x = F_{x1} + F_{x2} \\ F_y = F_{y3} \\ F_z = F_{z1} + F_{z2} + F_{z3} \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_x = (F_{z2} + F_{z3} - F_{z1}) \cdot a \\ M_y = (F_{x2} - F_{x3}) \cdot b \\ M_z = F_{x1} \cdot a + F_{y3} \cdot b - F_{x2} \cdot a \end{cases}$$

Un cop decidit la col·locació dels diferents sensors, ja es pot passar al disseny de tots els elements de la pota.

Com es pot deduir, perquè aquest sistema funcioni, cada una de les potes ha de tenir el moviment en un sentit lateral lliure. Si no tingués aquest moviment lliure hi hauria una part de la força en aquesta direcció que estaria suportada pel terra i no es calcularia, és a dir, provocaria un error inacceptable a la lectura del torsor. Cal dir, que encara que tingui aquest moviment lliure, la pota no es desplaçarà ja que el moviment estarà bloquejat per una altre pota. Per fer-ho, s'ha usat una guia lineal per fricció. S'ha escollit que aquesta sigui per fricció i no per elements rodants per tal de minimitzar l'espai necessari.

Cal destacar que les potes també estan constituïdes d'elements d'unió entre els sensors i els elements d'enllaç (guia lineal per fricció i ròtula esfèrica). En concret són tres elements d'unió: el que uneix la ròtula esfèrica amb un dels sensors, el que uneix el dos sensors i el que uneix un sensor amb la guia lineal.

Finalment, per tal d'anivellar les tres potes en el pla paral·lel a la superfície, s'ha creat una estructura base que serà la peça on aniran agafades les potes i que estarà en contacte amb el terra. Pel disseny d'aquesta peça s'ha de pensar en deixar espais per poder realitzar el muntatge de la plataforma.

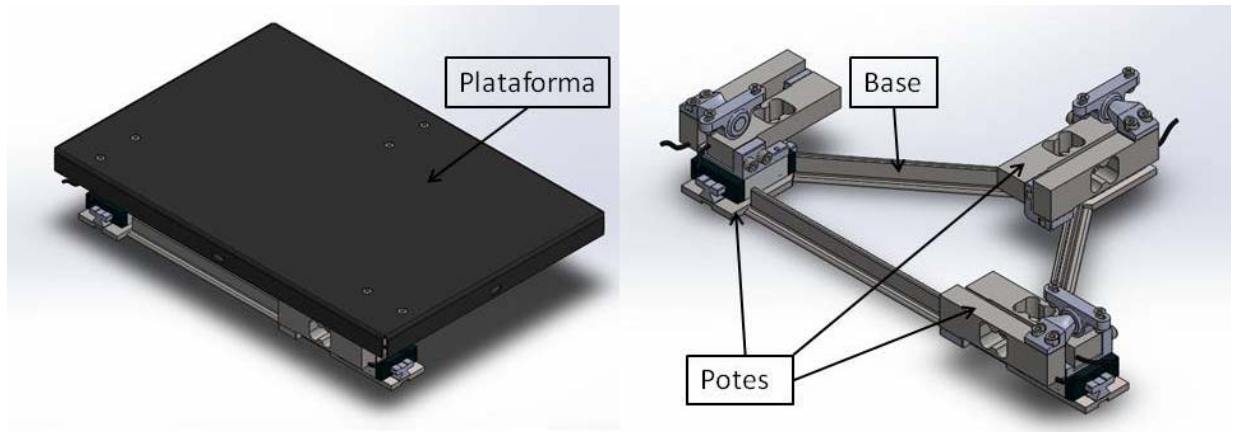


Fig. 18: Parts de la plataforma

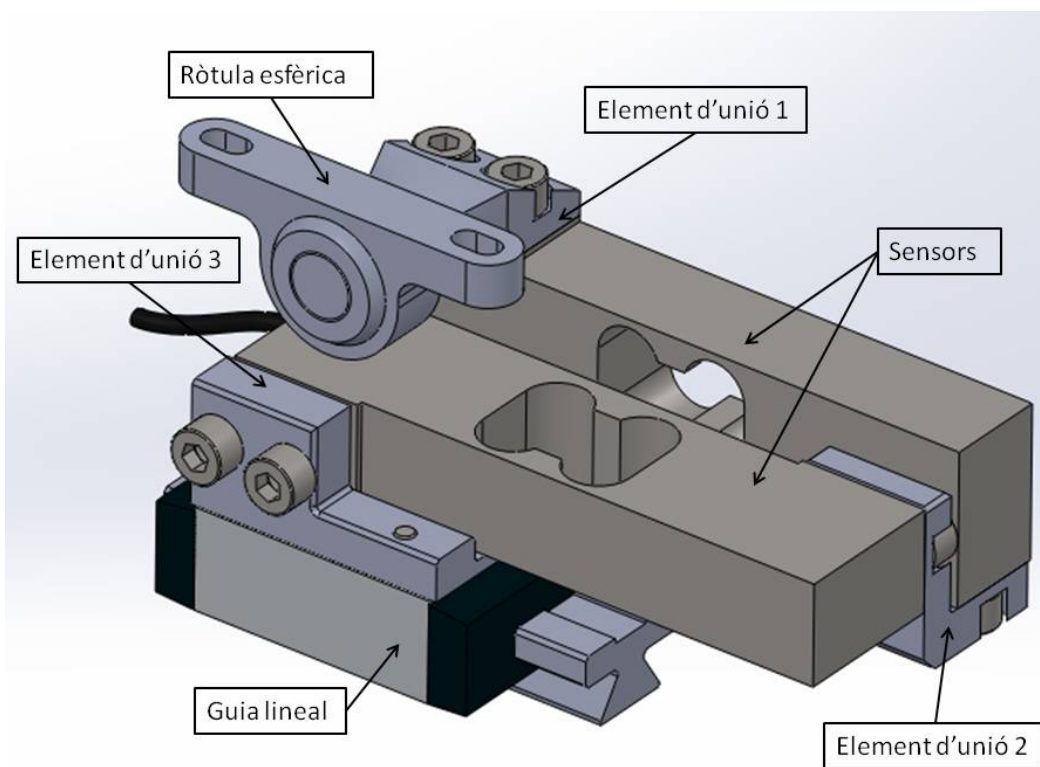


Fig. 19: Parts de la pota

## 5.2. Solució constructiva

El laboratori de biomecànica només té intenció de construir una plataforma. Aquest fet, s'ha de tenir en compte a l'hora de determinar el procés constructiu i productiu de la plataforma a fi de reduir els costos.

S'opta per processos de mecanitzat i adquisició de elements comercials sempre que es pugui.

A més a més, a fi de minimitzar el temps i cost de fabricació, en el procés de disseny s'ha fet que les tres potes siguin iguals i que utilitzin el màxim nombre de peces estàndard.

## 5.3. Components

### 5.3.1. Components que es compren

1. Sensors de força: Per a l'elecció d'aquests s'ha tingut en compte els paràmetres següents:

- Força màxima que podria absorbir per així determinar la capacitat nominal de la cèl·lula.
- Geometria i dimensions, ja que es vol aconseguir una altura mínima de la plataforma.
- Tipus de cèl·lula de càrrega.

Primer de tot, s'ha fet un estudi de quines eren les posicions més probables on la persona trepitjaria i aquestes s'han considerat les condicions normals de la plataforma. A continuació es mostra la zona més probable de ser trepitjada. Cal dir que s'ha considerat que la persona trepitja en un únic punt que es troba situat al centre de la planta del peu.

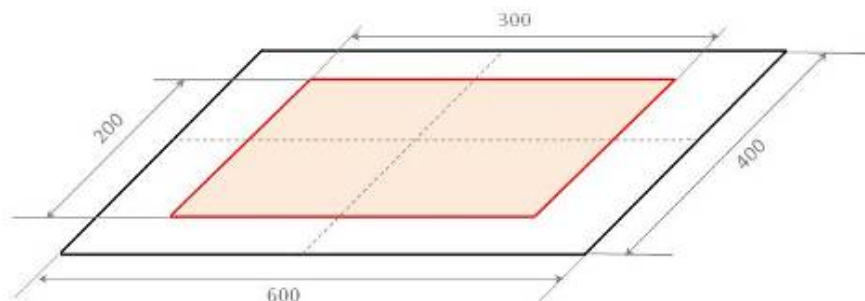


Fig. 20: Zona de trepitjada

Posteriorment s'ha passat a calcular la força màxima que suporta cada un dels sensors quan la persona trepitja al marge del rectangle vermell de la Fig. 20:

Taula 4: forces màximes suportades pels sensors en condicions nominals.

<b>Fx1</b>	<b>Fx2</b>	<b>Fy3</b>	<b>Fz1</b>	<b>Fz2</b>	<b>Fz3</b>
1012,5N	1012,5N	450N	1285,71	1111,61N	1111,61N

Com ja s'ha dit anteriorment, es pretén que tots els sensors siguin iguals. Per tant, s'ha de mirar quina és la força més gran a suportar pels sensors i després buscar un sensor amb una força nominal superior a aquesta.

Observant la taula 4, es determina que la força màxima a suportar pel sensor és de 1285,71N. Entre els sensors detallats a l'apartat *Estat de la tècnica*, la cèl·lula escollida ha estat el model 160 150kg de la marca UTILCELL:

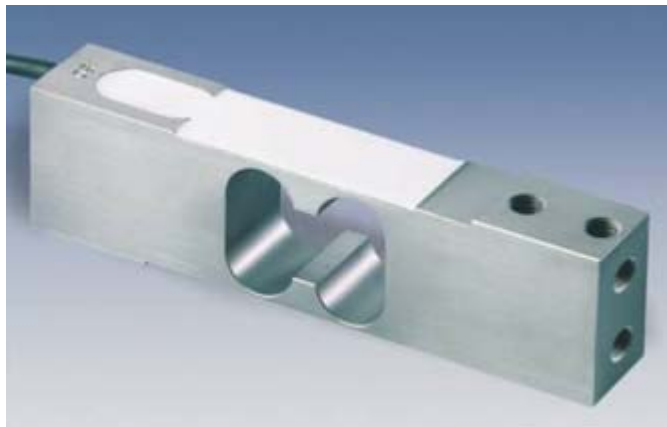


Fig. 21: Cèl·lula de càrrega MODEL 160 150kg

Com es pot deduir, aquest sensor té una càrrega nominal de 1500N i per tant, ens aporta un coeficient de seguretat de 1,17.

2. Guia lineal: Per a la tria d'aquesta guia lineal, s'ha tingut en compte:

- Forces màximes que podrien suportar.
- Geometria i dimensions, ja que es vol aconseguir una altura mínima de la plataforma.
- Tipus d'element lineal
- Mínim coeficient de fricció estàtic entre la guia i la corredera.



Sabent que la força vertical màxima és de 1285,71N i que la força lateral màxima és de 1012,5N, s'ha escollit la guia lineal per fricció DryLin T Linear Guide System de la marca IGUS que el seu fabricant indica en les especificacions que pot suportar fins a 7400N en la direcció vertical i 3700N en la direcció lateral:

**Guia:** DryLin T guide rail TS-01-20

**Corredera:** DryLin T carriages TW-01-20



*Fig. 22: Guia lineal DryLin T Linear Guide System*

3. Ròtula esfèrica: Per a l'elecció de la ròtula, s'ha tingut en compte els següents paràmetres:

- Forces axials i radials que podria suportar.
- Geometria i dimensions de la peça, ja que es necessita una peça que es pugui adaptar a la geometria de les potes i de la plataforma, i a la vegada es desitja que les seves dimensions siguin el més petit possible a fi de minimitzar l'altura de la plataforma.

Igual que en el cas del sensors, la força vertical màxima, que en aquest cas es tractarà de la força radial, és de 1285,71N i la força lateral, que ara es tractarà de la força axial, és de 1012,5N. Així doncs, el model escollit és el model KSTM-16 de la marca IGUS que pot suportar fins 1500N de força radial a llarg termini i de 1800N de força axial. Aquest model a part de suportar les forces, té una geometria adequada pel disseny de la plataforma, ja que s'adapta mitjançant unions cargolades amb la plataforma i mitjançant un eix amb les potes.





Fig. 23: Ròtula esfèrica KSTM-16

4. Pota regulable de goma: Aquesta peça es necessària per tal d'anivellar la plataforma en superfícies que tinguin un cert desnivell o bé, que siguin irregulars. Per a la seva elecció, s'ha tingut en compte els següents paràmetres:

- Forces que podria suportar.
- Geometria i dimensions de la peça, ja que es necessita una peça que es pugui adaptar a la geometria de la plataforma, i a la vegada es desitja que les seves dimensions siguin el més petit possible a fi de minimitzar l'altura de la plataforma.

El model escollit ha sigut el SR1572 M6 x 20mm de la marca MOSS Express:



Fig. 24: Pota regulable de goma SR1572 M6 x20mm

### 5.3.2. Components que es fabriquen

A continuació s'explicaran les característiques més importants de les peces d'elaboració pròpia i el material amb el que es fabricaran. Per la selecció del material de cada peça s'ha seguit els criteris següents: [1]

- Resposta a la funció. El material ha de respondre a les exigències de la funció de la peça. Aquest aspecte està íntimament relacionat amb les propietats físiques i mecàniques.
- Conformació i fabricació. Encara que un material s'adapti a les propietats requerides per la funció, s'ha de prestar al mètode d'elaboració desitjat amb un cost raonable.
- Cost i subministrament. Cal assegurar-se que el material escollit estigui a l'abast, a un preu i uns terminis raonables.
- Relació amb l'usuari. Hi prevalen les operacions d'acabat, com ara el tacte o el color. Cal tenir-hi present els costos d'operacions d'acabat.
- Facilitat de reciclatge. El material escollit ha de ser reciclable, tan per imposició legal com per la sensibilitat ciutadana.

Cal destacar que el material escollit per totes les peces que es fabriquen ha sigut el mateix, Acer S235. Aquest s'ha escollit per diverses raons però les més importants a destacar és el seu cost baix, el seu bon ús per tota classe de construccions metàl·liques i peces mecàniques de responsabilitat moderada, apte per conformar-lo mitjançant mecanitzat i la facilitat per aconseguir el material.

1. Plataforma: Per la fabricació d'aquesta peça es partirà d'una planxa de 3mm de gruix d'unes dimensions de 800x500mm i es passarà a donar-li la forma desitjada mitjançant operacions de doblegat. Per altre banda, d'aquesta peça base es mecanitzaran tres peces d'uns 86x15mm i, posteriorment, es soldarà el conjunt.

2. Base: Aquesta peça es realitzarà per mecanització i soldadura. El material base seran un perfil en forma de T de 25x25mm i de longitud 880mm, i un bloc d'acer de 210x120x8mm. Aquest es mecanitzaran per aconseguir la forma desitjada i, posteriorment, es soldaran.

3. Element d'unió 1: Aquesta peça es fabricarà mitjançant mecanitzat. Per fer-ho es partirà d'un bloc de 20x35x70mm i mitjançant mecanització de control numèric s'aconseguirà les dimensions desitjades.

4. Element d'unió 2 i unió 3: Aquestes peces es realitzaran per mecanitzat.

Per realitzar els elements d'unió 2 es partirà d'una barra quadrada de 40x40mm i longitud més gran que 105mm que es tallarà en tres peces de 40x40x35mm i es procedirà a donar-li la forma desitjada mitjançant mecanitzat de control numèric.

Pel que fa als elements d'unió 3, es seguirà un procediment molt semblant que l'element d'unió 2. Es partirà d'una barra rectangular de 40x60mm i longitud més gran que 204mm que es tallarà en tres peces de 40x60x68mm i es continuarà mitjançant mecanització de control numèric per donar-li la forma final desitjada.

Cal a dir, que totes les peces de fabricació pròpia necessitaran que se'ls apliqui un pavonat. Gràcies a aquest procés d'acabat, les peces no s'oxidaran.

## 5.4. Comprovacions de les especificacions

En aquest apartat, es comprovarà si la plataforma dissenyada compleix les especificacions marcades pel laboratori de biomecànica. S'ha cregut convenient dividir-lo en dos subapartats diferents: comprovació del dimensionament i comprovació de les forces màximes que ha de suportar.

### 5.4.1. Comprovació del dimensionament

Com es pot observar a la fotografia següent, les dimensions de la plataforma compleixen els requisits imposats: plataforma de 600x400mm i una altura més petita que 120mm.

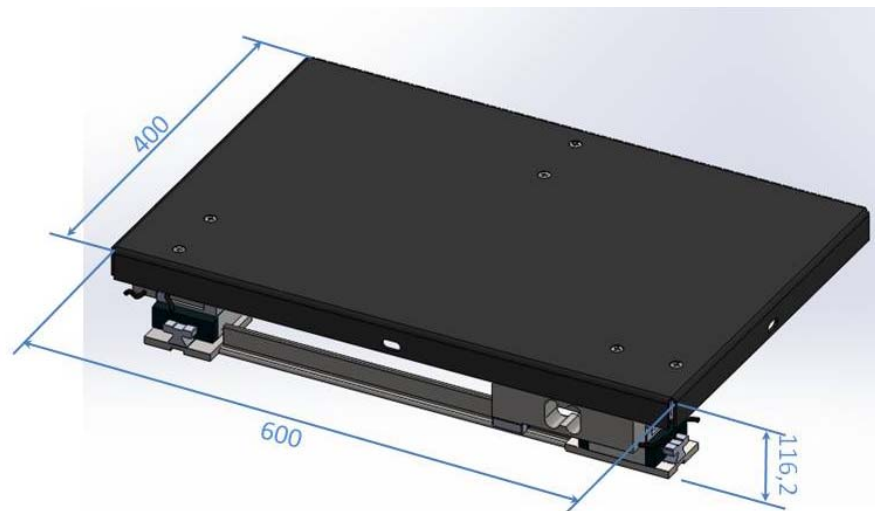


Fig. 25: Dimensions de la plataforma

### 5.4.2. Comprovació de les forces a suportar.

El propòsit d'aquest apartat és verificar que els sensors i els elements d'enllaç suporten la condició de força màxima imposada pel laboratori de biomecànica de la UPC en l'apartat 3. *Plec de condicions i especificacions*. Cal destacar que aquestes condicions no succeiran en cap cas ja que seria aplicar la força de la persona en els punts extrems de la plataforma. És a dir, en el cas de que s'apliqui la força als extrems de la plataforma, el pes de la persona no estarà totalment suportat per la plataforma sinó que part del pes serà suportada per la tarima de fusta on està situada.

Sabent les càrregues màximes del torsor que la plataforma ha de suportar s'ha passat a calcular les forces verticals i laterals màximes que suportaran cada un de les potes mitjançant les equacions d'equilibri:

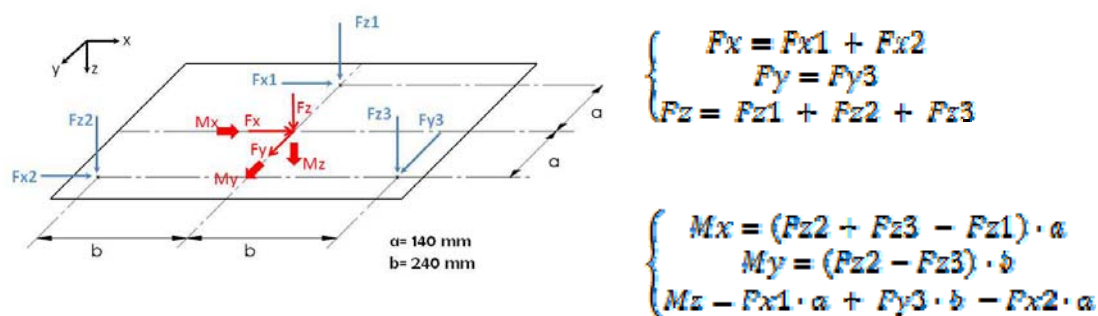


Fig.26: Esquema forces disposició 1

Taula 5: Forces màximes que han de suportar les potes en condicions extremes

Fx1	Fx2	Fy3	Fz1	Fz2	Fz3
1414,29N	1414,29N	450N	1821,43N	1848,21N	1848,21N

#### 5.4.2.1. Comprovació de les forces als sensors.

Com es pot observar a la taula 5, totes les forces laterals són més petites que el valor nominal dels sensors (1500N) però en el cas de les forces verticals, aquestes tenen un valor més alt. Seguint les especificacions del fabricant dels sensors, aquests sensors poden suportar fins un màxim de 200% de la seva càrrega nominal. Per tant, com que la càrrega nominal és de 1500N, la seva càrrega límit serà de 3000N que està bastant per sobre del valor de la taula. Per tant, els sensors poden suportar perfectament les forces.

Cal recordar que el cas que s'està estudiant, és a dir, que hi puja una persona del màxim pes admissible per la plataforma recolzant el seu pes en una de les cantonades, es pot considerar un cas especial i no gaire ocurrent.

#### 5.4.2.2. Comprovació de les forces a la ròtula esfèrica

A partir dels càlculs realitzats anteriorment al inici d'aquest apartat, es pot veure que la força màxima radial que ha de suportar la ròtula esfèrica és de 1848,21N, mentre que la força axial màxima és de 642,86N. Per altre banda, les forces màximes admissibles per la ròtula segons el fabricant són:

Taula 6: Càrregues màximes que pot suportar la ròtula esfèrica KSTM-12

Càrrega radial estàtica màxima a curt termini	Càrrega radial estàtica màxima a llarg termini	Càrrega axial estàtica màxima
23000N	1500N	1800N

Pel que fa a la càrrega axial, la càrrega sol·licitada és molt menor que la càrrega estàtica màxima, per tant, en aquesta direcció la ròtula podrà suportar la càrrega màxima tranquil·lament. En canvi, pel que fa a la càrrega radial, la càrrega sol·licitada està entre la càrrega màxima a curt termini i la de llarg termini. En aquest cas, no hi haurà problema ja que com s'ha dit abans, l'aplicació d'aquesta càrrega màxima és un cas excepcional i, per tant, es tracta de càrrega estàtica a curt termini.

#### 5.4.2.3. Comprovació de les forces a la guia lineal

Per verificar que la guia lineal pot suportar les forces sol·licitades, al tractar-se de condicions estàtiques, només es comprovarà que el torsor sol·licitat en el punt "zero point", indicat en la Fig.27, sigui més petit que el torsor màxim que pot suportar, indicat en les seves especificacions.

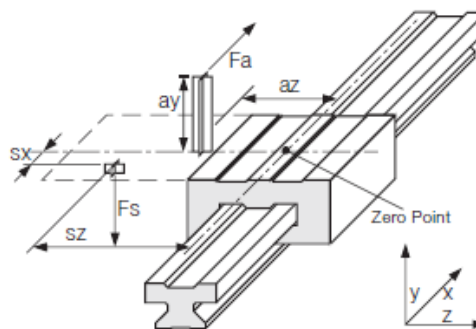


Fig. 27: Esquema de les forces que actuen a la guia lineal

A continuació es mostraran les taules del torsor màxim sol·licitat (taula 7) i el torsor màxim que pot suportar (taula 8):

*Taula 7: Torsor màxim sol·licitat de la guia lineal*

<b>Fy</b>	<b>Fz</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>	<b>Mz</b>
1848,21N	1414,29N	69,76Nm	21,21Nm	27,72Nm

*Taula 8: Torsor màxim que pot suportar la guia DryLin T TS-01-20*

<b>Fy</b>	<b>Fz</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>	<b>Mz</b>
7400N	3700N	85Nm	45Nm	45Nm

Com es pot observar les forces que pot suportar la guia lineal son molt superiors a les que està sol·licitada.

Per altre banda també cal comentar que el disseny de la pota s'ha fet de manera que el punt de l'aplicació de les forces estigui molt pròxim al centre de la guia per tal d'evitar que es produeixi falcament.

#### **5.4.2.4. Comprovació de les forces als elements d'unió 1, 2 i 3**

Per últim, queda verificar si els elements d'unió poden suportar els esforços rebuts i, per tant, que no es trenquin. Per fer-ho s'ha estudiat a quins esforços estan sotmesos i s'ha verificat que els esforços sol·licitats són inferiors als admissibles. Per assegurar que aquests elements d'unió són capaços de suportar la pitjor situació possible, s'ha aplicat una càrrega de 1850N en la direcció vertical i 1420N en la direcció lateral, tenint en compte que aquesta potser en ambdós sentits.

En tots els casos s'obté un coeficient de seguretat preu elevat (veure ANNEX 4.4 *Comprovació de les forces als elements d'enllaç*)

S'ha considerat que no es necessari realitzar un estudi de fatiga ja que es realitzen com a màxim unes 600 trepitjades a l'any (màxim unes 50 trepitjades al mes).

## 6. Muntatge

A continuació es detallen els passos a seguir per realitzar el muntatge de la plataforma. En cas de dubte, consultar el plànol de muntatge que es troba en l'annex del treball.

1- Muntatge de les guies lineals DryLin T guide rail TS-01-20 a la base mitjançant els cargols M5x20 i femelles M5. També s'ha de col·locar les potes regulables de goma SR1572 M6 x 20mm mitjançant la seva unió cargolada.

2- Muntatge de les potes:

- a) Muntatge de la corredera DryLin T carriages TW-01-20 i de l'element d'unió 3 mitjançant quatre cargols M5 x 30mm.
- b) Muntatge del sensor de força que calcula la força lateral amb l'element d'unió 3 mitjançant dos cargols M8x25mm.
- c) Muntatge de l'element d'unió 2 amb el sensor de força lateral mitjançant dos cargols de M8x16mm.
- d) Muntatge del sensor de força vertical amb l'element d'unió 2 mitjançant dos cargols M8x16mm.
- e) Muntatge de l'element d'unió 1 amb el sensor de força vertical mitjançant dos cargols M8x16mm.
- f) Col·locació de la ròtula esfèrica KSTM-16 en el cilindre de l'element d'unió 1.

3- Col·locació de les tres potes en les seves respectives guies.

4- Muntatge de la plataforma mitjançant sis cargols M6x25mm, sis arandeles M6 i sis femelles M6.

5- Realitzar les connexions dels sensors al sistema d'adquisició de dades.





## 7. Pla de manteniment

Per garantir el correcte funcionament del mecanisme en qualsevol situació d'assaig és recomanable realitzar el calibratge dels sensors de força cada cert període. Aquest calibratge es pot dur a terme de dues maneres diferents: realitzant un calibratge per cada sensor o fent un calibratge comú per tots els sensors.

En el primer cas, si es realitza un calibratge per cada sensor, primer de tot s'ha de procedir amb el desmuntatge de la plataforma i, una vegada es tenen els sensors aïllats de la plataforma, es procedeix al calibratge marcat pel proveïdor.

La segona opció, és a dir, un calibratge comú per tots els sensors, es pot realitzar a través d'aplicar diferents forces i moments en diferents punts de la plataforma. Per fer-ho es preveuen quatre forats situats al lateral de la plataforma per tal de poder aplicar forces horitzontals i moments.



## 8. Estudi econòmic i pressupost

En aquest capítol s'ha realitzat dos estudis econòmics diferents: el cost del present projecte i el pressupost de la plataforma.

### 8.1. Cost del projecte

Per tal de que el temps d'elaboració del projecte sigues el mínim possible i, per tant, els seu cost també es minimitzes, aquest s'ha realitzat seguint una metodologia de gestió de projectes:

- En primer lloc, definint els objectius i l'abast del projecte.
- En segon lloc detallant i planificant les diferents fases especificant les dates d'inici i final.
- Finalment, establint un seguiment i control de les etapes a desenvolupar.

Per altre banda, per poder avaluar el cost del projecte, aquest s'ha dividit en dos subapartats: recursos humans i recursos materials.

#### 8.1.1. Recursos humans

En el disseny de la plataforma s'ha considerat necessari un equip de dues persones: un director de projecte i un enginyer industrial.

El director de projecte és l'encarregat de supervisar el treball realitzat, així com aportar punts de visió diferents a les solucions implementades per l'enginyer. S'ha estimat que la quantitat d'hores treballades en el projecte ha sigut de 50h i el seu preu per hora treballada s'ha estimat en 70€/h.

Pel que fa a l'enginyer industrial, és l'encarregat de realitzar l'estudi previ de sensors i plataformes que existeixen al mercat, el disseny i càlculs de la plataforma i l'elaboració dels plànols de fabricació i muntatge. La càrrega horària per dur a terme aquestes funcions és la que es mostra a la taula següent:

*Taula 9: Càrrega horària del enginyer industrial*

Activitat	Nombre d'hores
Estudi previ	40h

Anàlisi de les alternatives	100h
Disseny i càlculs de la plataforma	200h
Elaboració de plànols i redacció de memòria final	40h
Hores totals	380h

Tal i com es pot veure a la taula, l'enginyer industrial a treballat 380h en el projecte i el seu preu per hora treballada, segons el Col·legi d'enginyers de Catalunya, és de 40€/h. Cal a dir que aquests honoraris també inclouen els costos procedents de consum telefònic, impressions i similars.

### 8.1.2. Recursos materials

S'inclou en aquest apartat el cost dels recursos materials utilitzats tal com material d'oficina, llicències de software i impressions entre d'altres. Cal a dir que encara que el material d'oficina i les impressions siguin recursos materials aquests ja es troben inclosos en els honoraris del enginyer industrial. Per tant, en aquest apartat, només s'estudiarà els costos deguts a les llicències de software.

El disseny en 3D de la plataforma s'ha realitzat amb el programa SolidWorks. El preu de la llicència anual és de 10.000€. Coneixent que les hores dedicades al disseny han sigut de 200h, es pot estimar que el cost en aquesta llicència és de 685€

Finalment, es pot determinar el cost total del projecte:

*Taula 10: Cost del projecte*

<b>RECURSOS HUMANS</b>	<b>18700 €</b>
Director del projecte	3500 €
Enginyer industrial	15200 €
<b>RECURSOS MATERIALS</b>	<b>685 €</b>
Llicència SolidWorks	685 €
<b>COST TOTAL PROJECTE</b>	<b>19385 €</b>

## 8.2. Pressupost de la construcció de la plataforma

El pressupost s'ha determinat en tres subapartats: components que es compren, components que es fabriquen i muntatge.

### 8.2.1. Cost dels components que es compren

Els elements de compra són aquells que es troben en el mercat i s'utilitzen directament sense haver de ser modificats.

A continuació es detalla els cost d'aquests elements:

*Taula 11: Cost dels components que es compren*

Component	Quantitat	Preu unitari	Preu
Sensor UTILCELL model 160 150kg	6	78,30 €	469,80 €
DryLin T guide rail TS-01-20	1m	46,92 €	46,92 €
DryLin T carriages TW-01-20	3	35,40 €	106,20 €
Ròtula esfèrica KSTM-16	3	8,23 €	24,69 €
Pota regulable de goma SR1572 M6 x20mm	3	1,03€	3,09€
Cargol ISO7046 M6x25	6	0,20 €	1,20 €
Arandela ISO 10669 M6	6	0,03 €	0,18 €
Femella ISO 4032 M6	6	0,08 €	0,48 €
Cargol ISO 4762 M5x20	6	0,21 €	1,26 €
Femella ISO 4035 M5	6	0,02 €	0,12 €
Cargol ISO 4762 M8x16	18	0,39 €	6,96 €
Cargol ISO 4762 M8x25	6	0,44 €	2,63 €
Cargol ISO 4762 M5x30	12	0,38 €	4,54 €
PREU TOTAL			668,06 €

### 8.2.2. Cost dels components que es fabriquen

Els elements que es fabriquen són aquells que es compra la primera matèria (Acer S235) i mitjançant mecanitzat s'aconsegueix la peça desitjada. Per la realització del mecanitzat s'ha estimat un cost de la màquina de 50€/h.

A continuació es detallen els costos d'aquestes peces tot diferenciant el preu de la matèria prima del preu de mecanització:

*Taula 12: Cost dels components que es fabriquen*

<b>MATÈRIA PRIMA</b>		<b>49,89 €</b>
Planxa d'acer S235 de 800x500x3mm		19,20 €
Planxa d'acer S235 de 210x120x8mm		3,23 €
Perfil en forma de T de 25x25mm, longitud 880mm		2,50 €
Barra rectangular d'acer S235 de 20x35mm, longitud 500mm		4,76 €
Barra rectangular d'acer S235 de 40x40mm, longitud 500mm		6,23 €
Barra rectangular d'acer S235 de 40x60mm, longitud 500mm		13,97 €
<b>PREU DE CONSTRUCCIÓ</b>		<b>375 €</b>
Plataforma	0,5h	25 €
Base	1h	50 €
Elements d'unió 1 (3)	2h	100 €
Elements d'unió 2 (3)	2h	100 €
Elements d'unió 3 (3)	2h	100 €
<b>PREU TOTAL</b>		<b>424,89 €</b>

### 8.2.3. Cost del muntatge

Per la realització del muntatge només és necessitarà un operari amb un cost de 20€/h. el procés de muntatge s'ha estimat a un hora. Per tant, el cost de muntatge és de 20€.

#### 8.2.4. Pressupost total del projecte

Finalment coneixent el cost de tots els components i el cost de muntatge es troba que el pressupost total és el següent:

*Taula 13: Pressupost del projecte*

Pressupost total	1.106,66 €
Components que es compren	661,77 €
Components que es fabriquen	424,89 €
Muntatge	20 €





## **9. Impacte ambiental**

Avui dia, és molt important tenir en compte el impacte ambiental a l'hora de dissenyar un nou producte. Per tal d'avaluar amb més precisió el impacte que té la plataforma en l'entorn, és útil separar la seva vida en tres fases diferenciades: fase de construcció, fase de funcionament i fase de desballestament.

### **9.1. Fabricació**

En aquest apartat, només s'ha tingut en compte els efectes ambientals produïts pels components que es fabriquen. És a dir, els efectes produïts pels components que es compren no s'han tingut en compte ja que no entra dins l'abast d'aquest projecte.

Pel que fa a les peces que es fabriquen, totes elles es produeixen per arrencament per viruta i per tant, s'usen olis que s'han de tractar segons indica la normativa del Catàleg Europeu de Residus per residus d'olis i de combustibles líquids.

Per altre banda, el material sobrant considerat com a residu, s'haurà de classificar segons el tipus de material per poder ser posteriorment tractat en un procés de reciclatge. Cal destacar que la primera matèria d'aquestes operacions s'ha escollit per tal de minimitzar el material sobrant.

### **9.2. Muntatge i funcionament**

Durant el muntatge i el funcionament no es genera cap tipus de residus.

### **9.3. Retirada del producte**

Al final de la vida útil de la plataforma no s'han de prendre mesures especials amb cap dels elements que formen part d'aquesta. Simplement, s'ha d'inspeccionar l'estat de les peces per mirar de reutilitzar-les i les peces que estiguin fetes mal bé o que no es puguin reutilitzar s'han d'abocar en els punts de reciclatge pertinents.



## Conclusions

Després d'haver estudiat varies alternatives s'ha arribat a un disseny definitiu que permet complir amb tots els objectius i especificacions que s'havien marcat a l'inici del projecte, és a dir, el disseny d'una plataforma de dimensions 600x400mm i una altura inferior a 120mm, capaç de mesurar eficientment el torsor que rep de les forces aplicades a la seva superfície quan la persona camina.

Pel que fa al disseny de la plataforma, s'ha intentat en tot moment desenvolupar un sistema compacte, fàcil de muntar i amb poc manteniment.

Pel que fa a la fabricació del producte, s'ha decidit maximitzar el nombre de peces estandarditzades per tal de facilitar la fabricació i reduir el cost de la plataforma. Per a escollir les peces que es compren s'han realitzat diversos càlculs i s'han buscat peces amb les característiques necessàries per al funcionament correcte del producte. Pel que fa a les peces que es fabriquen s'ha decidit realitzar-les totes per mecanitzat mitjançant el torn de control numèric del que disposa el laboratori de mecànica.

Pel que fa a la part econòmica, s'ha calculat el cost del projecte a través de les hores dedicades a l'elaboració del treball i estimant el nombre de treballadors necessaris i els seus respectius honoraris. Per altre banda, també s'ha calculat el pressupost del projecte, és a dir, els cost que tindria fabricar la plataforma. Gràcies a aquest càlcul s'ha pogut veure la gran diferència econòmica de la plataforma dissenyada amb les plataformes existents al mercat.

Per últim, durant tot el procés de disseny s'ha procurat minimitzar l'impacte ambiental de la vida del producte. A l'hora de prendre decisions sempre s'ha tingut en compte quina alternativa era més respectuosa amb el medi ambient, cosa que ha portat a obtenir un producte molt poc influent en l'entorn al llarg de la seva fabricació, vida útil i posterior retirada.



## Agraïments

Primer de tot, m'agradaria agrair al Sr. Daniel Clos Costa, tutor d'aquest projecte, per guiar-me i orientar-me durant aquests últims mesos que he estat realitzant el projecte. També voldria agrair als professors del departament d'enginyeria mecànica i en especial al laboratori de biomecànica, els quals sempre m'han ajudat en tot el que ha estat en les seves mans.

Per altre banda, indubtablement donar les gràcies a la meva família per tot el suport i comprensió durant la realització del projecte i en la vida en general.



## Bibliografia

### Referències bibliogràfiques

- [1] CARLES RIBA ROMEVA. *Selección de materiales en el diseño de máquinas*. Edicions UPC, 2008, p.11

### Bibliografia complementària

AMTI. Plataformes de força.

[[http://www.amti.biz/AMTIpibrowser.aspx?\\_\\_VIEWSTATE=%2FwEPDwUKMTIzMjMzNzQzOGRk&iListbox1=350&iListbox2=397&ifromHome=true](http://www.amti.biz/AMTIpibrowser.aspx?__VIEWSTATE=%2FwEPDwUKMTIzMjMzNzQzOGRk&iListbox1=350&iListbox2=397&ifromHome=true), 9 Febrer 2014]

KISTLER. Plataforma de força model 9260AA3 i 9260AA6.

[<http://www.kistler.com/us/en/product/force/9260AA3>, 10 de Febrer 2014]

KISTLER. Plataforma de força model 9286B.

[<http://www.kistler.com/us/en/product/force/9286BA>, 10 de Febrer 2014]

BTS BIOENGINEERING. Plataformes de força.

[<http://www.btsbioengineering.com/products/force-analysis>, 11 Febrer 2014]

DEPARTAMENT D'ENGINYERIA MECÀNICA DE LA UPC. Apunts del tema 3 d'assaig de màquines. [<https://em.upc.edu/docencia/estudis-de-grau/etseib/assaig-de-maquines/apunts/tema-3/view>, 12 Febrer 2014]

HAEHNE. Sensors de força. [[www.haehne.de/es](http://www.haehne.de/es), 12 Febrer 2014]

AEP. Sensors de força. [<http://www.aep.it/Trasduttori%20di%20FORZA.htm>, 12 Febrer 2014]

UTILCELL. Sensors de força. [<http://www.utilcell.es/>, 12 Febrer 2014]

METTLER TOLEDO. Sensors de força.

[[http://es.mt.com/es/es/home/products/Industrial\\_Weighing\\_Solutions/AutomPrecision/load\\_cells\\_and\\_weigh\\_modules.html](http://es.mt.com/es/es/home/products/Industrial_Weighing_Solutions/AutomPrecision/load_cells_and_weigh_modules.html), 12 Febrer 2014]

AMTI. Sensors triaxials.

[[http://es.mt.com/es/es/home/products/Industrial\\_Weighing\\_Solutions/AutomPrecision/load\\_cells\\_and\\_weigh\\_modules.html](http://es.mt.com/es/es/home/products/Industrial_Weighing_Solutions/AutomPrecision/load_cells_and_weigh_modules.html), 13 Febrer 2014]

ALTHEN. Sensors de força.

[[http://www.althensensors.com/force\\_transducers\\_and\\_load\\_cells](http://www.althensensors.com/force_transducers_and_load_cells), 13 Febrer 2014]

DIRECT INDUSTRY. Guia lineal. [<http://www.directindustry.es/prod/schaeffler-technologies-gmbh-co-kg/guiados-desplazadoras-lisos-miniatura-169-808405.html>, 9 Abril 2014]

RS. Guia lineal. [<http://es.rs-online.com/web/p/guias-lineales-railes/4885079>, 9 Abril 2014]

CHAMBRELAN. Guia lineal. [<http://www.chambrean.es/ES/productos/guias-lineales/productos.html>, 9 Abril 2014]

NORELEM. Guia lineal. [<http://www.norelemservices.com/pdf/en/21200.pdf>, 10 Abril 2014]

IGUS. Guia lineal. [[http://www.igus.es/wpck/1853/drylin\\_t](http://www.igus.es/wpck/1853/drylin_t), 10 Abril 2014]

THK. Ròtula esfèrica. [<http://www.thk.com/?q=es/node/4291>, 12 Abril 2014]

DIRECT INDUSTRY. Ròtula esfèrica. [<http://www.directindustry.es/prod/chiavette-unificate-spa/rotulas-angulares-28993-419678.html>, 12 Abril 2014]

TIMKEN. Ròtula esfèrica. [<http://www.timken.com/es-es/products/bearings/productlist/sphericalplain/Pages/default.aspx>, 12 Abril 2014]

IGUS. Ròtula esfèrica. [[http://www.igus.com/wpck/3766/igubal\\_Stehlager](http://www.igus.com/wpck/3766/igubal_Stehlager), 12 Abril 2014]

ESSENTRA COMPONENTS. Potes regulables. [<http://www.essentracomponents.es/patas-ajustables-305659>, 28 Juny 2014]

PIEZAS DE PLÀSTICO. Potes regulables.

[<http://www.piezasdeplastico.com/Patas%20Ajustables%20Articuladas.html> 28 Juny 2014]

BÄNFER. Potes regulables [<http://www.baenfer-kst.de/stellfuesse/magnetf-e/45-mit-schwenkbarem-gewindebolzen/magnetfuss-45-mit-schwenkbarem-gewindebolzen-0-048/a-928> 28 Juny 2014]

DANIEL CLOS COSTA, *Quadern D3 preprojectes*. Serveis Gràfics de Copisteria Imatge, SL. ETSEIB, 2010.